

Nooa Hovilainen

# Savukaasupesurin hintavaikutus laivakalkkyyllivaiheessa

Opinnäytetyö  
Merenkulun koulutus

2018



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Nooa Hovilainen	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2018
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		21 sivua
Savukaasupesurin hintavaikutus laivakalkyyllivaiheessa		
<b>Toimeksiantaja</b>		
Oy Arctech		
<b>Ohjaajat</b>		
Joel Paananen ja John Forsell		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tutkimus käsittelee savukaasupesurin hintavaikutusta laivakalkyyllivaiheessa. Toimeksiantaja antoi työhön referenssialuksiksi neljä erilaista alusta ja kaksi erilaista savukaasupesurityyppiä. Tarkoituksena oli valmistaa laskentatyökalu, jolla voidaan arvioida asennuskustannuksia, lähinnä asennustuntien muodossa. Materiaalikustannukset eivät ole osa tätä työtä. Näiden asennustuntien selvittämisen lisäksi valmistui laskentataulukko savukaasupesureita asentavia telakoita varten. Laskentataulukko toimii runkona tuleviin laskelmiin, ja taulukkoa käyttävän henkilön tulee itse tietää omiin asennuksiin kuluvat työtuntimäärät.</p> <p>Toimeksiantajalla ei ollut aikaisempaa tietoa pesureista, joten laskentamenetelmän valmistaminen alkoi tyhjältä pöydältä. Tutkimus eteni kvantitatiivisten menetelmien mukaisesti etsimällä internetistä julkaisuja ja haastattelemalla telakan henkilökuntaa. Työssä esitellään myös kansainvälisiä rikkipäästöjen rajoituksia ja erilaisia savukaasupesureita. Näiden julkaisujen ja haastatteluiden perusteella valmistui Excel-laskentataulukko, jonka avulla voidaan laskea putkistojen, venttiilien ja pumppujen asennustunteja.</p> <p>Tutkimuksessa saatiin selville putkisto-, venttiili- ja pumppuasennuksiin kuluvat tunnit arvioidulla vakiolla. Putkistojen määrät arvioitiin laitteistojen sijoittamisen suhteen ainoastaan korkeuden perusteella. Tutkimuksessa kerrotaan, kuinka laskentatyökalu on valmistettu, ja mitkä arvot vaikuttivat laskentaan. Toimeksiantaja tuntee omat hintansa ja asennustuntien suhteet, joten toimeksiantaja voi käyttää tätä laskentatyökalua hyödykseen. Tutkimuksen todelliset tulokset ovat näin ollen salaisia.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
laivanrakennus, urakkalaskenta, laskentatyökalu, pakokaasut		

Author (authors)	Degree	Time
Nooa Hovilainen	Maritime Engineer	May 2018
<b>Thesis Title</b>		21 pages
Scrubbers cost effect during the ship calculus phase		
<b>Commissioned by</b>		
Oy Arctech		
<b>Supervisors</b>		
Joel Paananen and John Forsell		
<p><b>Abstract</b></p> <p>The objective of this study was to create a calculation tool for shipyards to calculate and to estimate the possible costs of a scrubber installation, mostly in the form of installation time. The client supplied four different ships and two different scrubber types for reference to calculations. Material costs are not a part of this study. Besides this calculation, a calculation table was formed for all the shipyards to use. However, the user of the calculation tool must know their own installation times for the installations.</p> <p>Creation of the calculation tool started from a clean slate, due to the client not having any previous knowledge of scrubber installations. Quantitative means were used to gather information from publications and when interviewing staff from the client. The calculation tool was formed by these interviews and publications. The calculation tool can calculate the installation time for pipes, valves and pumps. This study introduces also some requirements and restrictions for sulfur emissions and three main types of scrubbers.</p> <p>This study finds out installation times by estimated constant values for pipes, valves and pumps. Height and the positions of the components were the factors that decided the lengths of the pipes. This study also narrates the creation of the calculation tool and describes the values for calculation. The client knows their own prices and the relations to the installation times, so they can use this tool for their calculations. The real results of this study are confidential.</p>		
<b>Keywords</b>		
ship building, contract cost calculations, calculation tool, exhaust gases,		

## SISÄLLYS

LYHENNELUETTELO .....	1
1 JOHDANTO .....	2
1.1 Tutkimusaineisto .....	3
1.2 Tutkimusmenetelmä .....	3
2 VAATIMUKSET .....	4
2.1 Keinot päästöjen vähentämiseen .....	5
3 ERILAISET RIKKIPESURIT .....	6
3.1 Avoimen kierron pesuri.....	8
3.2 Suljetun kierron pesuri.....	8
3.3 Hybridipesuri .....	9
4 PESUREIDEN TOIMITTAJAT .....	9
4.1 Hinta-arviot pesureiden toimittajilta .....	9
5 PESUREIDEN KOON ARVIOINTI.....	10
6 TIETOA ARCTECHISTA .....	10
6.1 Arctechin rakennustavat.....	10
7 PAKOKAASUPESURIEN ASENNUSKUSTANNUKSIA.....	12
7.1 Kustannusarvio tankkerille, jossa on suljetun kierron järjestelmä.....	17
7.2 Kustannusarvio risteilijälle, jossa on avoimen kierron järjestelmä .....	18
7.3 Kustannusarvio Ro-Pax-alukselle, jossa on avoimen kierron järjestelmä .....	18
7.4 Kustannusarvio jäänmurtajalle, jossa on avoimen kierron järjestelmä 19	
8 TUTKIMUSTULOKSET .....	19
9 POHDINTA.....	20
LÄHTEET .....	22
KUVALUETTELO	

## LYHENNELUETTELO

IMO = International Maritime Organization, Kansainvälinen merenkulun organisaatio. YK:n alainen järjestö jonka tehtävänä on valvoa laivojen päästöjä ja turvallisuutta.

MARPOL = Marine Pollution, Merenkulun saasteet. Kansainvälinen sopimus merenkulun saasteiden valvomisesta.

ANNEX VI = IMO:n säädösten MARPOL liite numero kuusi, joka koskee rahtikuljetusten polttoaineiden rikkipitoisuutta.

SECA-alue = Sulphur Emission Control Area, Rikin päästörajoitusalue joka yhdistää Itä-meren, pohjanmeren ja Englannin kanaalin yhdeksi suureksi päästörajoitusalueeksi.

ECA = Emission Control Area, päästörajoitusalue.

Trafi = Suomalainen liikenteen turvallisuusvirasto.

$\mu$  = mikro eli miljoonas osa.

MEPC 184(59) = Marine Environment Protection Committee, meriympäristön suojelukomitea. Pyrkii toiminnallaan vähentämään laivoista tulevia päästöjä mereen ja suojelee herkkiä merialueita. Säädos 184(59) käsittelee ohjesääntöjä savukaasujen pesemisestä ja sen aiheuttamista päästöistä.

NaOH = natriumhydroksidi joka on toiselta nimeltään lipeä.

MgO = magnesiumoksidi.

MW = Megawatti, joka tarkoittaa miljoonaa wattia.

Sw supply= meriveden syöttölinja.

Fw supply = makeanveden syöttölinja.

Scrubber drainage = Savukaasupesurin vuodatuslinja, joka menee savukaasupesurista asettumistankkiin.

Sludge eli liete, tässä tutkimuksessa rikkipitoinen liete. Käytän sludge-sanasta suomennosta liete.

GRE = Glass Reinforced Epoxy, joka tarkoittaa tässä tutkimuksessa epoksi lasikuituputkistoa.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni tutkitaan savukaasupesurin hintavaikutusta laivakalkkyyli-vaiheessa. Tutkimuskysymys on, kuinka paljon maksaa savukaasupesurin asentaminen neljään erilaiseen laivaan. Tutkimuskysymys muodostui keskustellessani Arctechilla John Forsellin kanssa. Hänellä tuli mieleen tämä kyseinen aihe savukaasupesureista ja niiden kasvavasta tarpeesta maailmalla. Tarkoituksena olisi kehittää telakoille laskentamenetelmä savukaasupesureiden asentamisen hinnoitteluun. Arctech toimi työssäni toimeksiantajana, sillä heillä ei ole aikaisempaa kokemusta savukaasupesureiden asennuksista. Käytin työssäni apuna Arctechin suunnitteluosastoa, josta löytyi apua putkistojen mitoittamiseen sekä pesurikomponenttien määriin.

Referenssinä laskentamenetelmän valmistamiseen olen käyttänyt neljää eri alustyyppiä:

1. 229 m:n tankkeri
2. 270 m:n risteilijä
3. 220 m:n Ro-Pax eli risteilijän ja rahtialuksen sekoitus
4. 100 m:n jäänmurtaja

ja kahta eri tyyppistä savukaasupesuria:

1. suljetun kierron pesuri
2. avoimen kierron pesuri

Tutkimusaiheeni sisältää hintoja ja hinta-arviointia, jotka moni yritys pitää salaisena tietona. Tällä suojellaan yrityksen tärkeää kilpailuvalttia. Työssäni käsiteltävät hintatiedot ja asennustunnit ovat näin ollen vain suuntaa antavia ja tätä laskentataulukkoa käyttävät yritykset voivat käyttää omia arvojaan tarvittavissa laskennoissa. Työssäni suunnittelen putkistojen, venttiilien ja pumppujen asennustuntien laskentaa helpottavan taulukon ja annan suuntaa antavia asennustuntimääriä referenssimateriaalin puutteesta johtuen.

## 1.1 Tutkimusaineisto

Kun aloitin tutkimukseni, totesin että paras tutkimusaineisto tulisi löytymään joko Internetistä tai aihepiiriin kuuluvista julkaisuista. Aineistoa oli kuitenkin erittäin niukasti, joten siirryin haastattelemaan Wärtsilää ja Lang Techia. Kumpikaan yritys ei ehtinyt antamaan aineistoa, joten täytyi lopulta turvautua erittäin niukkaan määrään julkaisuja. Onnekseni kuitenkin sain asiantuntevaa apua Arctechin toimistolta.

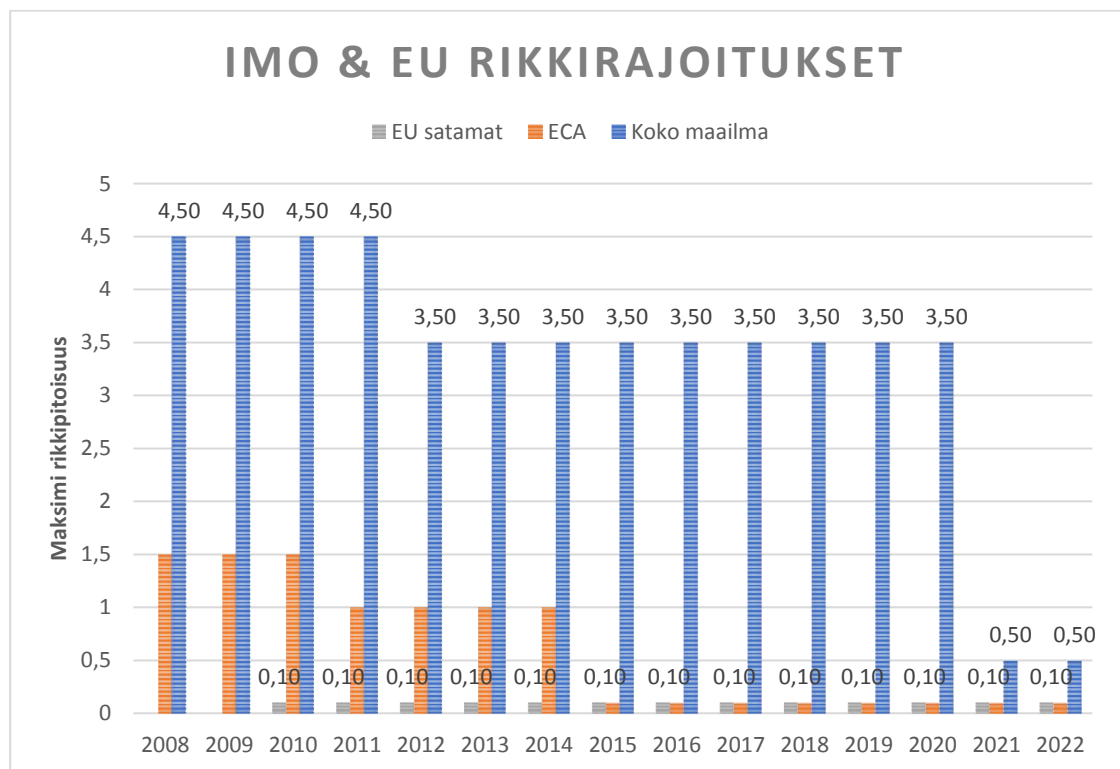
## 1.2 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä käytin kvantitatiivisia menetelmiä, joilla aloitin vastausten etsimisen tutkimuskysymykseeni. Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä oli paras vaihtoehto tähän tutkimukseen, koska tutkimus tulisi sisältämään paljon laskentaa ja laskennallisia määreitä. Kvantitatiivinen tutkimus perustuu lähinnä loogisiin päätelmiin ja aistihavaintoihin. Tutkimuksen tarkoituksena oli valmistaa laskentatyökalu telakoille savukaasupesureiden asentamiseen koostamalla aineistoa internetistä ja kirjoista, joten tutkimus on myös ennustava tutkimus. Laskimena toimi Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelma, jolla suoritin erilaisia taulukkolaskentoja, sekä arvioin erilaisten resurssien tarpeita. Kvantitatiiviselle tutkimukselle ominaista olisi päästä myös tutkimaan aiempia teorioita. Näitä hinta-arvioita löytyy kappaleesta 4.1. Vertailen näitä valmistajien antamia hintatietoja kappaleessa 8 tutkimustulokset.

## 2 VAATIMUKSET

Nykyinen rikkidirektiivi on kansainvälisen merenkulun organisaation tekemä merenkulun saasteet liite numero kuusi. Tämä liite rajoittaa polttoaineen rikkipitoisuutta, joka voidaan myös tehdä rajoittamalla rikinpäästöjä pakokaasussa savukaasupesurilla.

Nykyinen rikkidirektiivi IMO MARPOL ANNEX VI tuli voimaan 1.1.2015. Tämä direktiivi rajoitti kaikkien SECA-alueella liikkuvien merirahtikuljetusten polttoaineen rikkipitoisuuden 0,1 %:iin. (DSV 2014.)



Kuva 1. Havainnollistava kuva uusista rikkirajoituksista

Rikkirajoituksia on vuosi vuodelta tiukennettu ja ilmaan saa päästää maailman laajuisesti vain 0,5 % rikkiä vuoden 2020 jälkeen. Vuonna 2010 rajoitettiin ECA-alueiden päästöjä 1,5 %:sta yhteen prosenttiin. Kuva 1 osoittaa kuinka tämän jälkeen vuonna 2012 rajoitettiin koko maailman päästöjä yhdellä prosenttiyksiköllä. Vuonna 2015 astui voimaan nykyinen rajoitus, joka rajoitti ECA-alueiden päästöt yhdestä prosentista 0,1 %:iin. Nähtäväksi jää, kuinka vuoden 2020 rikkirajoitukset tulevat vaikuttamaan savukaasupesureiden asennuksiin.



Uusi rikkidirektiivi tuli voimaan heti 2015 alussa, minkä johdosta monille laivayhtiölle on tullut tarve laskea päästöjen rikkipitoisuuksia. Tämä direktiivi on tehty suojelemaan mm. Itämeren ja myöhemmin, vuodesta 2020 tai 2025 alkaen myös koko maailman vesistöjä. Uusi rikkidirektiivi ei rajoita polttoainetyyppejä, joten aluksissa voi käyttää raskas polttoöljyä tai niiden tisleitä. Trafi suorittaa valvontakäyntejä, joilla tarkastetaan laivojen päästöjä ja varmistetaan direktiivien noudattaminen. (Trafi 2018a; Wärtsilä 2018a.)

Pakokaasujen puhdistaminen siihen tarkoitetun laitteiston avulla on sallittua, säädöksen ”Equivalents (SOx scrubber, etc.) – Regulation 4” eli Vastineet (Rikkipesuri, jne.) – Säädos 4 nojalla. Tämä säädös sallii kaikenlaiset keinot ja lisälaitteet, esimerkiksi savukaasupesurin, rikkipäästöjen vähentämiseksi. (IMO 2018.)

Rikkiin sitoutuneet pienhiukkaset ovat erityisen haitallisia ihmiselle, sillä ne aiheuttavat sydän- ja verisuonitauteja. Tämän lisäksi rikinoksidit happamoittavat vesistöjä. (Trafi 2018b.)

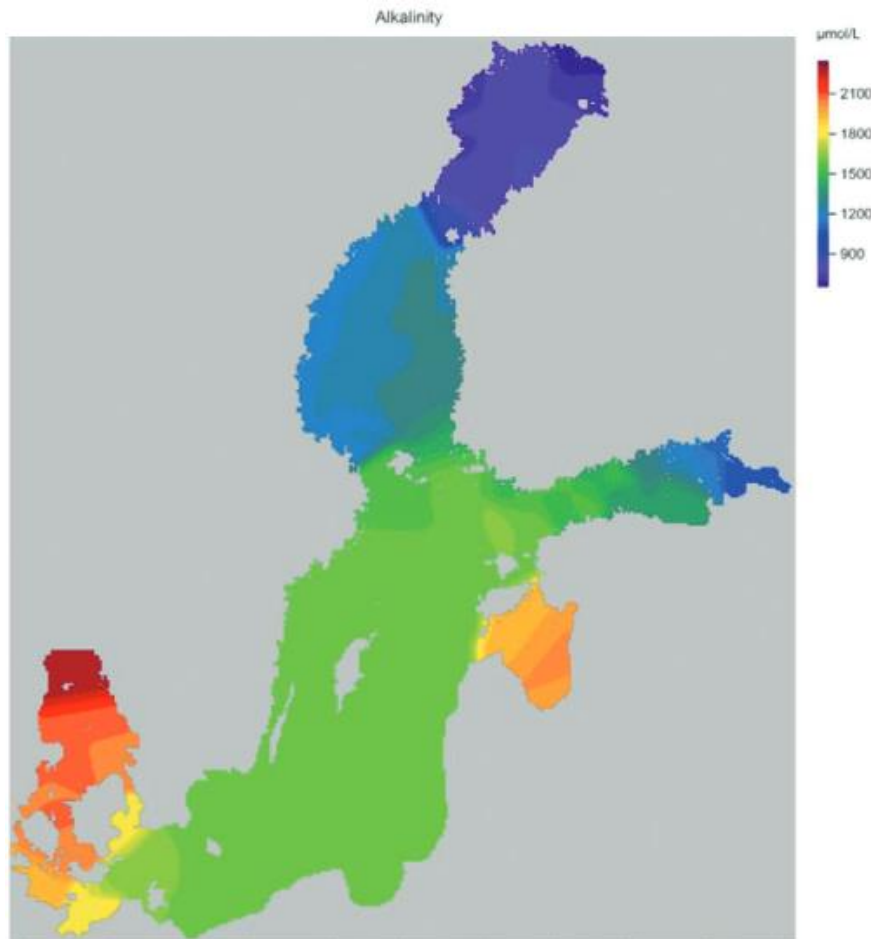
## **2.1 Keinot päästöjen vähentämiseen**

Tämän uuden rikkidirektiivin takia monet laivayhtiöt joutuvat nyt keksimään erilaisia vaihtoehtoja rikkipäästöjen vähentämiseen. Vaihtoehtoina ovat toimineet mm. polttoaineen vaihtaminen halvasta raskaasta polttoöljystä kevyempään, mutta kalliimpaan diesel-polttoöljyyn tai kaasuun. Laivassa voidaan kuitenkin käyttää tätä halvempaa raskasta polttoöljyä, mikäli siihen asennetaan savukaasupesurit. Näin ollen saadaan säästöä polttoainekustannuksissa. Eräs vaihtoehto rikkipäästöjen vähentämiseen on myös hyvä sylinterin voitelu Pulse tai Alpha voitelujärjestelmällä. Tämä järjestelmä ruiskuttaa öljyä sylinterin palotilaan neutraloiden osan rikistä, vähentäen rikkipäästöjä. (Chopra 2017.) Sylinterivoitelun kyky neutraloida rikkiä perustuu öljyn TBN-lukuun. TBN eli The Base Number on luku, joka määrittää öljyn emäksisyyttä. Mitä emäksisempää öljy on, sitä helpommin se neutraloi hapanta rikkiä pois palotuotteesta. Yleisesti ottaen kaikki öljyt tehdään hieman emäksisemmäksi kuin

niiden tarvitsee olla, jotta niissä säilyy nk. reserviemäksisyys. Öljyn on tarkoitus olla koko elämänkaarensa emäksistä, jotta se ei alkaisi ruostuttaa tai oksidoida metalleja, joihin se on kosketuksissa. (Rudnick 2013, 438.)

### 3 ERILAISET RIKKIPESURIT

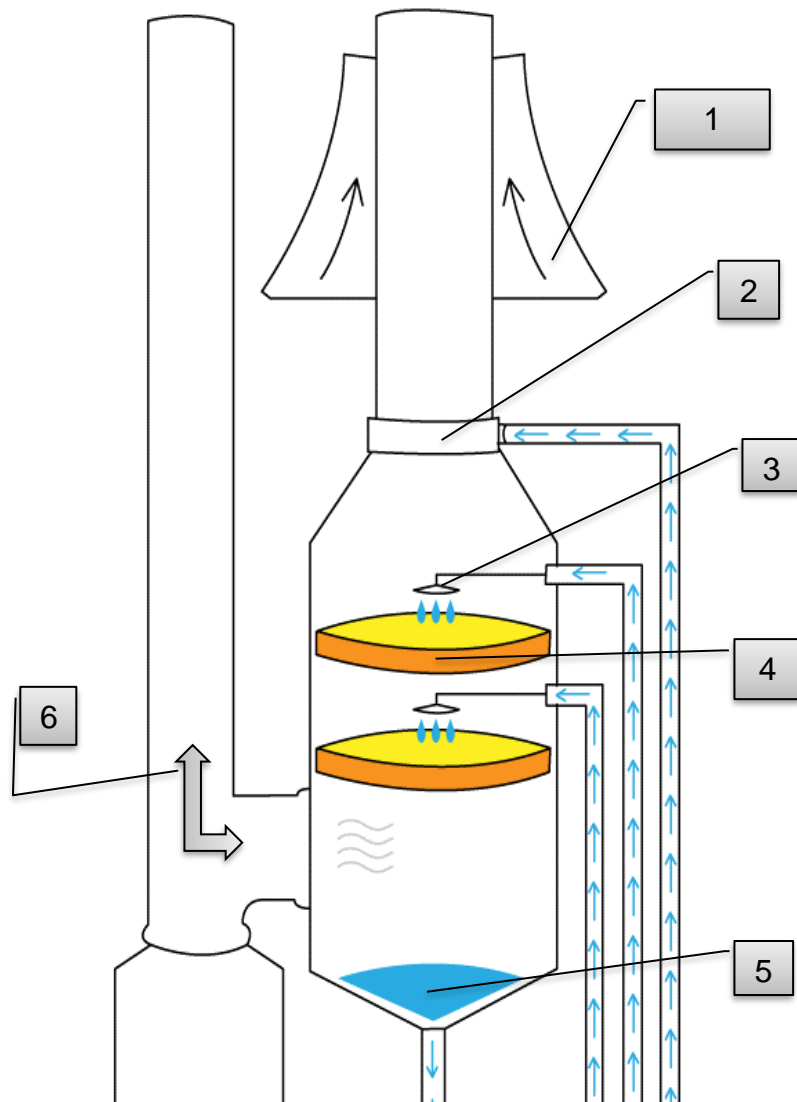
Rikkipesureita on kolme erilaista päätyyppiä. Ne ovat avoin kierto, suljettu kierto sekä hybridipesuri (Wärtsilä 2018a, 4). Avoimen kierron pesuria voidaan käyttää alueilla, joissa merivesi on emäksisyydeltään oikeanlaista. Suljetun kierron pesuria täytyy käyttää esimerkiksi Perämerellä tai Pietarin satamassa, joissa merivesi on liian hapanta.



Kuva 2. Esimerkki meriveden happamuuden vaihteluista Itämerellä. Avoimen kierron savukaasupesurille Wärtsilä on asettanut 1000 µmol/L turvarajan (Wärtsilä 2018a, 5).

Meriveden happamuus vaihtelee Itämerellä alueittain todella paljon. Kuva 2. havainnollistaa hyvin, kuinka hapanta merivesi on Perämerellä sekä

Pietarissa. Wärtsilä on asettanut turvalliseksi rajaksi avoimen kierron pakokaasun pesemiseen 1000  $\mu\text{mol/L}$ . Esimerkiksi Perämerellä arvo on kuvan perusteella alle 900  $\mu\text{mol/L}$ , mutta taas Helsingin kohdalla arvo on noin 1500 mikromol/l. Aluksen risteillessä esimerkiksi Helsingistä Tukholmaan, voidaan valita käytettäväksi avoimen kierron pesuri. (Wärtsilä 2018a, 5.)



Kuva 3. Savukaasupesurin rakenne

Savukaasupesurin sisällä on monenlaisia laitteita, kuten esimerkiksi pisarnerotin, vesisuihkut ja veden sekoittumista kaasuun edistävä pakattu peti. Kuva 3. havainnollistaa pesurin sisältöä. Pakokaasut virtaavat kuvassa ylöspäin ja niitä vastaan suihkutetaan korkealla paineella vettä (3). Vesisuihkujen alapuolella on pakattu peti (4), jonka tehtävänä on parantaa veden ja pako-

kaasun sekoittumista. Pesurin pohjalta valutetaan vettä talteen asettumistankkiin (5). Suihkujen yläpuolella on tipanerotin (2), joka poistaa vesipisaroita pakokaasusta. Lisäksi korsteenin voidaan liittää vesihöyryn poistoa varten ulkoisempi osa (1), jonka kautta johdetaan konehuoneen ilmaa pois, jolloin vesihöyryn muodostus vähenee. Jos pakokaasupesuri ei ole käytössä, perhosventtiili käännetään putkessa niin, että pakokaasut johdetaan vasemmanpuoleista kanavaa pitkin suoraan ulos (6). (Wärtsilä 2011.)

### **3.1 Avoimen kierron pesuri**

Avoimen kierron pesurissa kiertää merivesi, joka puhdistaa pakokaasun. Tämä pesurityyppi on erittäin tarkka meriveden emäksisyydestä. Pesuri ottaa pesuvetensä suoraan merestä. Meriveden emäksisyyttä tarkkaillaan jatkuvasti samalla, kun sitä pumpataan pesuriin ja pesurissa merivettä ruiskutetaan korkealla paineella pakokaasuja vastaan. Pesuvesi valutetaan pesurista tankkiin, jossa se saa asettua ennen suodatusta. Tämän jälkeen pesuvedestä suodatetaan rikkipartikkelit sallittuun ppm-arvoon, jonka määrittelee MEPC 184(59). Suurimmat epäpuhtaudet erotellaan lietetankkiin ja puhdistettu pesuvesi voidaan tämän suodatuksen jälkeen päästää takaisin mereen. (Wärtsilä 2018b.)

### **3.2 Suljetun kierron pesuri**

Suljetun kierron laitteisto taas toimii niin, että merivettä käytetään ainoastaan pesuveden jäähdyttämiseen. Pesuvesi kiertää suljettua kiertoa, jossa sitä puhdistetaan, jäähdytetään ja tarkkaillaan. Pesuveteen täytyy jatkuvasti lisätä emäksistä liuosta (NaOH tai MgO) sen happamoituessa savukaasuista. Suljetun kierron pesureita käytetään alueilla, joissa on mahdotonta käyttää suoraan merivettä sen matalan emäksisyyden vuoksi tai alueilla joissa pesuvettä ei saa päästää mereen. Osa pesuvedestä voidaan myös päästää takaisin mereen, mikäli se on suodatettu täyttämään vaatimus MEPC 184(59). (Wärtsilä 2018c.)

### **3.3 Hybridipesuri**

Hybridi-pesuri on kahden aikaisemmin mainitun pesurityypin yhdistelmä. Tullessa tietyille alueille pesurin voi vaihtaa suljetulta kierrolta avoimelle. Tämä pesurityyppi yhdistää yllämainittujen pesureiden hyvät ominaisuudet. Hybridipesureiden asentamista jokaiseen laivaan rajoittaa kuitenkin sen kallis hinta ja se, että aluksen liikennöintialueelle ei välttämättä ole kannattavaa asentaa kuin joko avoimen- tai suljetun kierron laitteisto. (Wärtsilä 2018d; Wärtsilä 2018a, 7.)

## **4 PESUREIDEN TOIMITTAJAT**

Luvun neljä kuvaus pesureiden toimittajista perustuu Fathom Maritime Intelligencen julkaisuun Marine Scrubbers: The Guide 2015 (Austin 2015). Pesureita valmistaa Suomessa Wärtsilä Oy. Lisäksi maailmalta löytyy muitakin valmistajia kuten Fuji Electric, AEC Maritime BV ja CR Ocean Engineering LLC.

Kaikki nämä neljä toimittajaa kykenevät asentamaan pesureita kaikkiin laivatyyppeihin sekä uusioasennuksena, että jälkiasennuksena. Wärtsilä ja CR Ocean Engineering LLC valmistavat märkäpesureita, kaikissa kolmessa edellä mainitussa päätyypissä. Fuji Electric ja AEC Maritime valmistaa pesureita vain avoimella ja suljetulla kierrolla.

### **4.1 Hinta-arviot pesureiden toimittajilta**

Wärtsilä ja AEC antavat lähtöhinnaiksi miljoona euroa. Asennushinnaksi on AEC kuvaillut 800 000 – 1 500 000 €, kun taas Wärtsilä on arvioinut 1,5 kertaa laitteiston hinnan. Fuji Electronics ja CR Ocean Engineerin eivät julkaisseet tarkkoja hintatietoja asennuksista eikä laitteista.

## 5 PESUREIDEN KOON ARVIOINTI

Suoritin pesureiden kokojen arviointia Excel-taulukkolaskentasovelluksessa. Pesureiden koon suhde megawatteihin löytyi ABS julkaisusta, Exhaust Gas Scrubber Systems: Status and Guidance (ABS 2013, 44, 52). Dokumentissa mainittiin pesureiden kokoja ja megawatti määriä, joista muodostin taulukoita erikokoisia aluksia varten. Tämä kyseinen julkaisu sisälsi Alfa Lavalin taulukon pesurin koosta sekä Wärtsilän antamia tietoja apulaitteiden mitoituksista. Aiheesta on kirjoitettu lisää tutkimukseni luvussa seitsemän.

## 6 TIETOA ARCTECHISTA

Arctech Helsinki Shipyard Oy valmistaa jäänmurtajia ja erikoisaluksia. Arctechin telakka sijaitsee Helsingissä, ja se työllistää noin 1400 henkeä, joista 600 henkilöä on vakituisessa työssä. Loput 800 henkeä ovat alihankkijoita. Vaikka Helsingin telakka on ollut paikallaan jo vuodesta 1865, Arctech on perustettu vasta 2010, venäläisen United Shipbuilding Corporationin (USC) toimesta. Helsingin telakka on valmistanut 60 % kaikista maailman jäänmurtajista. (Arctech 2018.)

### 6.1 Arctechin rakennustavat

Kävin sähköpostivaihtoa Arctechin edustajan John Forsellin kanssa. Seuraava rakennustapojen kuvaus Arctechin työtavoista perustuu John Forsellin (Forsell 2018a) sähköpostiviestillä antamaan tietoon työtavoista. Forsell kertoo, kuinka Arctech tekee varustelutöitä laivoihin. Tämä järjestys varustelussa on erittäin tärkeää siinä kohtaa, kun savukaasupesuria asennetaan laivaan.

John Forsellin mukaan varustelutyöt tehdään kolmessa vaiheessa. Arctechin varustelutöistä Arctech käyttää nimityksiä EM- ja JM-vaihe. Ne tulevat sanoista ennen maalausta ja maalauksen jälkeen. Tämä lisäksi Arctech tekee aluevarustelua rungolla. (Forsell 2018a.)

Lohkovarustelulla tarkoitetaan laivan rakentamista osissa, toisista irrallaan. Lohkot rakennetaan lohkovarusteluhalleissa, jonka jälkeen mahdollisimman valmis tuote asennetaan laivan runkoon.

Konekuilulohkoja Arctech varustelee EM- ja JM-vaiheissa. Ennen maalausta kaikki kuumavarustelutyöt tehdään valmiiksi, jottei maalipinta vaurioidu. Kuumavarustelutyöt kattavat mm. putkien asennukset. Suuret putket asennetaan ennen isojen komponenttien asennusta. (Forsell 2018a.)

Kaikkia komponentteja ei voi kuitenkaan asentaa suoraan lohkoon. Osa suurista komponenteista täytyy asentaa jälkikäteen aluevarusteluna, sillä joskus asentaessa lohkoja tulee vastaan lohkorajat eli komponentti kuuluisi kahteen lohkoon. Joskus komponenttien asentamista suoraan lohkoon rajoittaa nostureiden nostokorkeudet tai liian suuret lohkojen painot. Isot komponentit kuten kattilat, pakokaasukattilat, pakokaasuputket sekä äänenvaimentimet täytyy saada nostettua lohkoon sisään ennen peittävän lohkon asennusta. (Forsell 2018a.)

Pakokaasuputkien ja äänenvaimentimien tilalla voidaan tämän opinnäytetyön kontekstissa ajatella olevan savukaasupesurit. Savukaasupesurit ja niiden putkistot tulisi asentaa ennen kuin kyseisen lohkon päälle asennetaan seuraava lohko. Tällä vältetään turhien reikien leikkaaminen maalattuihin pintoihin.

Aluevarustelu alkaa, kun kuilulohko(t) on nostettu rungolle. Lohkossa olevat putkistot liitetään viereisiin lohkoihin. Samalla rakennetaan pienputkistot valmiiksi sekä asennetaan esimerkiksi eristeet. (Forsell 2018a.)

Kun aluevarustelu alkaa, liitetään savukaasupesurin pakoputket ja makea- tai merivesiputket laivan savukaasupesurijärjestelmään. Lisäksi tässä vaiheessa tulee asentaa eristeet savukaasupesurin kuumille pinnoille.

## 7 PAKOKAASUPESURIEN ASENNUSKUSTANNUKSIA

Arctech pyysi sisällytettävän työhön neljä eri alustyyppiä. Nämä neljä alustyyppiä olivat:

1. 229 m:n jäässä kulkeva tankkeri, suljettu kierto, 31 MW
2. 270 m:n risteilijä, avoin kierto 44,4 MW 2x boiler
3. 220 m:n Ro-Pax, avoin kierto 50,4 MW, 2x boiler
4. 100 m:n jäänmurtaja, avoin kierto 20,8 MW

Kaikkien alusten mitoitus suoritettiin samalla tavalla, alin piste merkittiin 1,5 m pohjasta ylöspäin ja ylin piste merkittiin kuilun huipusta 5 m alaspäin. Forsellin (2018b) mukaan siinä kohtaa on alin paikka, jossa tarvitsee asentaa putkia (merivesikaivo) ja noin 5 metriä kuilun huipusta sijaitsee pesurin pesulaitteisto.

Edellä mainittua ohjeistusta noudattaen, saatiin mitattua pituudet:

1. tankkeri 22,03 m,
2. risteilijä 45,15 m,
3. ro-pax 32,40 m ja
4. jäänmurtaja 18,74 m.

Näitä pituuksia hyödynnettiin laskimessa suhteuttamaan putkistojen mittoja. Aloitin putkistojen mitoittamistaulukon tekemisen arvioimalla laitteistojen sijain-  
teja ja määrittelemällä nimet eri linjoille. Laskin osaa laskea ”noin arvot” put-  
kistojen mitoille, joilla pystytään määrittämään asennuskustannuksia. Seuraa-  
vissa kappaleissa käytetään nimityksiä Taulukko 1 ja Taulukko 2. Nämä ovat  
nimitykset Excel-taulukoiden välilehdille 1 ja 2.

Taulukko 1 laskee pesurin sopivuutta korsteenikuiluun. Keltaisiin soluihin syö-  
tetään vain laivan kokonaismegawattit, korsteenikuilun pinta-ala ja tilavuus.  
Laskin palauttaa arvon TOSI tai EPÄTOSI, mikäli pesurilaitteisto mahtuu tai ei  
mahdu korsteenikuiluun. Tämä on toteutettu soveltamalla tietoa Fuji Electri-  
ciltä, Wärtsilältä sekä Alfa Lavalilta. Kerättyjen pinta-ala ja tilavuus tietojen pe-  
rusteella valmistui taulukoita, joihin tein trendiviivat. Trendiviivat olivat joko li-  
neaarisia tai polynomisia megawattien suhteen, sen perusteella, että mikä



näytti sopivan parhaiten käyräksi. Tämä taulukko on suuntaa antavaa tietoa. Lisäksi tein taulukon pesuria varten tarvittavista resursseista. Tieto tarvittavista resursseista perustuu ABS:n julkaisuun, Exhaust Gas Scrubber Systems: Status and Guidance (ABS 2013). Näiden trendiviivat ja kaavat noudattivat lineaarista käyrää suhteessa megawatteihin.

Taulukko 2 on laskentaa helpottava taulukko. Keltaisiin soluihin syötetään tietoja aluksesta.

Maksimikorkeus ( miinus 5 m kuilun katosta)	18,4 m
Maksimileveys (Sw supply ja poistoputket)	21,3 m
Pesurin korkeus (maksimikorkeus)	18,4 m
Asettumistankin korkeus	10 m
NaOH tai MgO tankin korkeus (suljettu kierto)	10 m
Separaattorin korkeus	5 m
Sludge tankin korkeus	0 m
Merivesi jäähdytin (suljettu kierto)	5 m
Merivesi kaivon korkeus (alin)	0 m
Moottorin korkeus	2 m
Pakoputkien huippu (kuilun katto)	23,4 m
Aluksen megawatit kaikki yhteensä (tankin koko, pumpun teho, sludgen tuotto)	20,8 MW
Sivuttais siirtymä pesuriin (mikäli pesuri ei tule korsteeni kuiluun)	0 m

Kuva 4. Excel-laskentataulukon Taulukko 2

Laskentatyökalu laskee putkistojen pituudet syötettyjen tietojen perusteella ja laskee ne viereiseen taulukkoon. Aluksen megawatit vaikuttavat vain tarvitta-

viin resursseihin ja suljetussa kierrossa myös prosessitankin kokoon. Sivuttaissiirtymällä laskin lisää syötetyn numeron plus-arvona kaikkiin putkiin. Mikäli pesuri ei tule korsteeniin, vaan esimerkiksi takakannelle, voidaan tähän laittaa vaikka 20 m. Oransseihin soluihin ei tarvitse syöttää tietoa, sillä ne ovat ennalta määritettyjä sijainteja.

Suljetun kierron laitteisto				
				Putken pituus (m)
Sw Supply linjan pituus				31,3
FW supply linjan pituus				17
Scrubber drainage (haponkest)				8
Pakoputken pituus				21,4
Sludge putket				10
Pesuvesitankit (koko suurinpiirtein)				33
Putkisto summa				88
Avoimen kierron laitteisto				
				Putken Pituus (m)
Sw supply linjan pituus				29
Scrubber drainage				13
Sludge putket				5
Separoitu - merivesi				5
Poistoputket- tankilta kaivoon				21
Pakoputket				21,4
Putkisto summa				95

Kuva 5. Excel laskentataulukko Taulukko 2. Suljettu ja avoin kierto.

Laskentamenetelmät joilla laskin toimii ovat seuraavanlaiset:

Suljetunkierroksen laskentamenetelmät:

- Sw Supply eli meriveden syöttölinjan pituus on laskettu maksimileveys plus merivesijäähdytimen korkeus kertaa kaksi, koska putket menevät jäähdytimeen ja takaisin.
- Fw supply on laskettuna maksimikorkeus miinus asettumistankin korkeus kertaa kaksi, koska putket menevät tankille ja takaisin.
- Scrubber drainage maksimikorkeus miinus asettumistankin korkeus.
- Pakoputken pituus on laskettu pakoputkien huippu miinus moottorin korkeus.
- NaOH supplyn mitta on erittäin viitteellinen ja perustuu käyttäjän arvioon NaOH tankin etäisyydestä asettumistankkiin.
- Lieteputkien pituus perustuu lietetankin korkeuden eroon asettumistankista.

Lisäksi jokaiseen kohtaan on lisätty sivuttaissiirtymä pesuriin pelkkänä plus arvona. Ajatellaan, että jos pesuri pitää siirtää esimerkiksi takakannelle, jolloin kaikkiin putkiin tulisi esimerkiksi kymmenen metriä lisää pituutta.

Avoimen kierron laskentamenetelmät:

- Sw supply, maksimileveys jaettuna kahdella plus maksimikorkeus, sillä oletetaan, että vesi otetaan sisään sivusta ja viedään laivan keskelle suoraan pesurille.
- Scrubber drainage, pesurin korkeus miinus separaattorin korkeus. Vesi valuu pesurin pohjalta asettumistankkiin josta sittemmin separaattorille. Ajatellaan, että asettumistankki on korkeammalla kuin separaattori, joten asettumistankin korkeus ei vaikuttaisi tämän putkiston pituuteen.
- Lieteputket, separaattorin korkeus miinus lietetankin korkeus.
- Separoitu merivesi, separaattorin korkeus miinus asettumistankin korkeus itseisarvona. Itseisarvona sen takia, että separaattori voi olla jossain tapauksessa korkeammalla kuin asettumistankki.
- Poistoputket tankilta kaivoon, asettumistankin korkeus plus leveys jaettuna kahdella. Ajatellaan että asettumistankki sijaitsee keskellä laivaa sivuttaissuunnassa, joten korkeus itsessään ei riitä. Tarvitaan vielä puolet laivan leveyden mitasta lisäksi.
- Pakoputket, pakoputkien huippu miinus moottorin korkeus.

Lisäksi tässä avoimessakin kierrossa on lisätty jokaiseen laskenta soluun pesurin sivuttaissiirtymä.

Lisäksi laskentataulukossa on suositukset putkistomateriaaleille, paikat joihin voi syöttää arvioituja asennuskustannuksia, putkien asennustunnit, venttiilien asennustunnit sekä tarvittaessa myös kuumien pintojen eristysten asennustunnit. Asennustuntimäärät ovat suuntaa-antavia, joten laskentatyökalun käyttäjä voi muuttaa niitä omalle kohdalleen sopiviksi. Taulukossa esitetyt putkikoot, venttiilien määrät sekä pumppujen määrät ovat myös suuntaa-antavia puuttuvan referenssimateriaalin takia.

Putkistomateriaali suositukset perustuvat ABS-julkaisuun (ABS 2013, 26-29). Merivesiputkistolle riittää galvanoitu-, GRE tai kumi- tai polyetyleenivuoraus. Makeavesiputkistolle ei ole suositusta. Julkaisussa mainitaan ainoastaan, että putkistomateriaali pitää harkita veden kemian mukaan. Savukaasupesurin vedenpoistoputkisto tulee olla tehty haponkestävästä teräksestä, sillä pesuvesi on erittäin hapanta rikkipitoisuutensa vuoksi. Pakoputket ja rikkipitoisen lietteen putkistot tulee tehdä ruostumattomasta teräksestä savukaasujen ja pesuveden rikkipitoisuuden vuoksi. Pesuvesitankille suositellaan muovimateriaaleja tai lasikuitua halvan hinnan ja helpon valmistamisen takia. Tankki on hyväksyttävää tehdä myös ruostumattomasta teräksestä.

Arvot ovat: putkiasennustunnit 2 h/m, venttiilien asennustunnit 2 h/kpl ja pumppujen asennustunnit 3 h/kpl. Laskentatyökaluni toisella välilehdellä on myös edelliseltä sivulta otettuja tietoja tarvittavista resursseista. Mukaan lukien tarvittavan pumpun teho, pesuveden virtaus ja lietteen tuotto, sekä suositeltu lipeän (NaOH) syötön määrä.

Kun kaikki tarvittavat tiedot on syötetty taulukkoon, laskin antaa vastaukseksi Hinta (yht) -kohtaan kyseisen rivin summan, ja kohtaan Kokonaissumma koko laitteiston asennuksen hinnan. Lisäksi jokaisen sarakkeen alla on kohta yhteen lasketuille tunneille, sekä lopuksi paikka kokonaistunneille.

Asennustunnit (yht)	€/h	Hinta (yht)
86,6	40	3464
55,6	40	2224
37,8	40	1512
44,8	40	1792
40	40	1600
24	40	960
2	40	80
291	Kokonaissumma:	11632

Kuva 6. Laskentatyökalun laskemat asennustunnit, esimerkkiarvoja.

Laskentatyökalu kykenee laskemaan tällä hetkellä putkien, venttiilien ja eristysten asentamisen kustannukset, ja myös arvioidun koon prosessitankille. Laskin ei osaa laskea kustannuksia pumppuja, savukaasupesuria eikä tarvittavia lisätankkeja varten.

### 7.1 Kustannusarvio tankkerille, jossa on suljetun kierron järjestelmä

Tankkeriin tuleva suljetun kierron järjestelmä tarkoittaa sitä, että sinne on saatava mahdutettua ainakin seitsemän pumppua, pesuvesitankki, jäähdytin, lietetankki, separaattori ja paljon putkistoa näiden välille. Mittasin tankkerin korsteenikuilun tilaavuuden ja pinta-alan saamastani kuvasta. Kuvan perusteella tehdyistä mittauksista päätellen sekä Wärtsilän että Alfa Lavalin savukaasupesurit mahtuisivat tankkerin korsteenikuiluihin. Lisäksi mittasin tankkerin korkeuden edellä mainitulla tavalla ja sain laskimella putkistomenekiksi 114 metriä. Pesuvesitankin kooksi tulisi 47 kuutiometriä, pesuveden virtausta tarvitaan 744 kuutiometriä tunnissa, ja pumpun tehovaatimus olisi 93 kW. Rikkipitoisen

lietteen tuotto olisi 62 litraa tunnissa. Lisäksi tähän suljetun kierron laitteistoon tulisi 37 venttiiliä. Pakoputkien eristykseen menisi 12,5 h. Asennuksen kokonaistunnit olisivat noin 343 tuntia.

## **7.2 Kustannusarvio risteilijälle, jossa on avoimen kierron järjestelmä**

Avoimen kierron järjestelmä vaatii toimiakseen pesuvesitankin (puhdas puoli ja likainen puoli), separaattorin, lietetankin ja seuraavat pumpput kahdennettuna: pesuvesipumppu, separaattorin pumppu ja reaktiovesipumppu (pH säätöön satamassa), eli yhteensä kuusi pumppua.

Mittasin risteilijän korsteenikuilun tilaavuuden ja pinta-alan saamastani kuvasta. Kuvan perusteella tehdyistä mittauksista päätellen sekä Wärtsilän, että Alfa Lavalin savukaasupesurit mahtuisivat risteilijän korsteenikuiluihin. Lisäksi mittasin risteilijän korkeuden edellä mainitulla tavalla ja sai laskimella putkistomenekiksi 186 metriä. Pesuveden virtausta tarvitaan 2000 kuutiometriä tunnissa, ja pumpun tehovaatimus olisi 621 kW. Rikkipitoisen lietteen tuotto olisi 89 litraa tunnissa. Lisäksi tähän järjestelmään pitäisi asentaa 25 venttiiliä. Pakoputkien eristykseen menisi 24 tuntia. Kokonaistunnit asennukseen olisivat noin 441 tuntia.

## **7.3 Kustannusarvio Ro-Pax-alukselle, jossa on avoimen kierron järjestelmä**

Ro-Pax-aluksen korsteenikuilun tilavuutta ja pinta-alaa ei voitu selvittää saadusta kuvasta. Mittasin Ro-Pax-aluksen korkeuden edellä mainitulla tavalla ja sain laskimella putkistomenekiksi 145 metriä. Pesuveden virtausta tarvitaan 2270 kuutiometriä tunnissa, ja pumpun tehovaatimus olisi 705 kW. Rikkipitoisen lietteen tuotto olisi 101 litraa tunnissa. Lisäksi tähän järjestelmään pitäisi asentaa 25 venttiiliä. Pakoputken eristykseen menisi 18 tuntia. Kokonaistunnit asennukseen olisivat noin 358 tuntia.

#### **7.4 Kustannusarvio jäänmurtajalle, jossa on avoimen kierron järjestelmä**

Mittasin jäänmurtajan korsteenikuilun tilaavuuden ja pinta-alan saamastani kuvasta. Kuvan perusteella tehdyistä mittauksista päätellen sekä Wärtsilän, että Alfa Lavalin savukaasupesurit mahtuisivat jäänmurtajan korsteenikuiluihin. Lisäksi mittasin jäänmurtajan korkeuden edellä mainitulla tavalla ja sain laskimella putkistomenekiksi 95 metriä. Pesuveden virtausta tarvitaan 936 kuutiometriä tunnissa, ja pumpun tehovaatimus olisi 291 kW. Rikkipitoisen lietteen tuotto olisi 42 litraa tunnissa. Lisäksi tähän järjestelmään pitäisi asentaa 25 venttiiliä. Pakoputkien eristykseen kuluisi 11 tuntia. Kokonaistunnit asennukseen olisivat noin 258 tuntia.

### **8 TUTKIMUSTULOKSET**

Tutkimuksen tulokset aluskohtaisesti ovat jäsenneltyinä kappaleissa 7.1 - 7.4. Tutkimukseni tuloksia ei kuitenkaan voi välittömästi verrata kappaleessa 4.1 mainitsemiini pesureiden toimittajien tekemiin hinta-arvioihin. Laskimestani puuttuu vielä suhteellisen monta osiota, joita on jouduttu rajaamaan, että aihe ei kasvaisi liian suureksi.

Laskimestani puuttuu mm. itse savukaasupesuriin asennustunnit ja putkistokokojen vaikutus asennustunteihin. Laskinta voi kuitenkin käyttää pesurin asennuksen kustannuksien laskemiseen. Laskimen käyttäjän täytyy tietää asennukseen menevä aika ja putkistojen asentamisen aika sekä työtuntien hinta, jotta tällä laskimella saadaan selvitettyä savukaasupesurin asennuskustannukset. Laskimen luotettavuus perustuu siis pelkästään käyttäjään, ja käyttäjän tekemiin arvioihin asennustunneista sekä tarvittavista komponenttimääristä. Arctech tuntee omat hintansa ja asennustuntien suhteet, joten Arctech voi käyttää tätä laskentatyökalua hyödykseen. Tutkimuksen todelliset tulokset ovat näin ollen salaisia, mutta laskentatyökalu julkaistaan vapaaseen käyttöön.

Laskimen virhe on mielestäni se, että se lähinnä mittaa vain korkeuseroja putkistojen pituuksien laskemiseen. Tarkemman laskimen saisi valmistettua tekeillä sen koordinaattipohjaiseksi. Laskimeen voisi siis syöttää kolmiulotteisilla koordinaateilla eri komponenttien paikat ja näin ollen saada todella tarkat mitat putkistoille. Mutta silti tämäkin tapa laskea putkistojen mittoja ei välttämättä olisi absoluuttinen, sillä laskinhan ei osaisi laskea putkissa olevia mutkia. Putkistojen todellisten mittojen laskemiseksi tulisi käyttää jonkinlaista 3D-mallinussovellusta ja katsoa sen kautta, kuinka paljon putkistoa tulisi menemään. Tämä työkalu on kuitenkin riittävän tarkka ilmaisemaan työtuntien määrän näiden komponenttien asentamiseen, kun ajatellaan, että laivaa ei ole vielä edes aloitettu rakentamaan. Tämä laskin on tarkoitettu laivakalkyyllivaiheessa tapahtuvaan hinnan arviointiin. Parempaan tarkkuuteen olisi saatettu päästä, mikäli olisin saanut referenssejä muista asennuksista ja tarkempia tietoja yrityksiltä, jotka tekevät pääasiassa savukaasupesureiden asennuksia.

Lisäksi jos vertailee avointa ja suljettua kiertoa, avoin on halvempi ja nopeampi asentaa. Tosin se johtuu siitä, että olen arvioinut siihen menevän pienemmän määrän putkistoa, venttiilejä ja pumppuja. Lisäksi avoimeen kiertoon ei kuulu lipeän syöttöputkistoa joka vähentää tarvittavaa putkisto määrää.

## 9 POHDINTA

Miten tutkimusongelma ratkaistiin, vastattiinko kysymyksiin? Nämä kysymykset ohjasivat johtopäätöksieni vetämistä tässä viimeisessä luvussa. Mielestäni tutkimusongelma, eli hintavaikutus laivakalkyyllivaiheessa ratkesi suurimmalta osalta istuessani Arctechin toimistolla. Siellä käydessäni mietittiin yhdessä, kuinka kehiteltäisiin laskentataulukkoa eteenpäin. Ajan kanssa kehittyi tarkempi ja rajatumpi kuva siitä, minkälaiseksi laskentataulukko muodostuisi. Mielenkiintoista oli, että en ehtinyt saamaan referenssejä asennuksista. Tästä syystä tutkimukseen ei ehditty sisällyttämään referenssejä tai vertailuja muihin asennuksiin. Tutkimusongelma ratkesi kuitenkin Arctechin asiantuntijoiden avustuksella. Mielestäni olisi ollut hyvä saada kuitenkin referenssejä muista asennuksista, jotta otanta olisi ollut tarkempi. Tällä laskentataulukolla Arctech kuitenkin pääsee eteenpäin laivakalkyyleissaan.



Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä sopi hyvin, sillä tutkimuksessa oli osaltaan myös tärkeää selvittää suljetun ja avoimen kierron eroja. Ja kvantitatiivinen tutkimus perustuu hyvin paljon loogiseen päättelyyn sekä aistihavaintoihin. Loogista päättelykykyä tarvitsin tulkitessani taulukoita ja trendiviivoja. Lisäksi päättelin monia muitakin asioita, kuten esimerkiksi tarvittavia mittoja laskimeen.

Hyöty tutkimuksesta menee suoraan telakoille, joiden täytyy asentaa savukaasupesureita laivoihin. Laskinta voidaan käyttää helposti vain pienillä parametrien muutoksilla. Mainittakoon lisäksi, että tästä aiheesta ja tästä opinnäytetyöstä saattaa syntyä lisää tutkimuksia. Esimerkiksi putkistokokojen suhteet megawatteihin, joka lisättäisiin taulukkoon, sillä Wärtsilä on ilmoittanut ja pesemiseen tarvittavia massavirtoja vedelle ja merivedelle. Laskin voisi antaa megawattien perusteella sopivat DN-putkikoot. Tai vaikkapa suljetun kierron erilaisten tankkien mitoitus, sillä tällä hetkellä laskin tunnistaa vain tarvittavan prosessitankin koon. Minkä kokoinen lipeä- tai lietetankki tulisi asentaa laivaan? Kuinka paljon teknistä vettä pesuprosessi tarvitsee? Mielestäni tästä olisi helppoa jatkaa tutkimusta. Lisäksi joku saattaisi voida tehdä laskimeen vielä hybridipesureita koskevan osuuden. Summatakseni, tutkimus oli mielestäni erittäin hyödyllinen ja monipuolinen sekä itselleni mielenkiintoinen.

## LÄHTEET

ABS 2013. ABS julkaisu, Exhaust Gas Scrubber Systems: Status and Guidance. PDF-dokumentti. Saatavissa <https://www.eagle.org/eagleExternalPortal-WEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/Capability%20Brochures/ExhaustScrubbers> [viitattu 18.4.2018].

Arctech 2018. Arctech. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://arctech.fi/fi/about-us/> [viitattu 19.4.2018].

Austin, C. 2015. Marine Scrubbers: The Guide 2015, E-kirja. Fathom Maritime Intelligence. Saatavissa [http://www.fathommaritimeintelligence.com/uploads/2/5/3/9/25399626/scrubber\\_guide\\_sample\\_pages.pdf](http://www.fathommaritimeintelligence.com/uploads/2/5/3/9/25399626/scrubber_guide_sample_pages.pdf) [viitattu 19.3.2018].

Chopra, K. 2017. 10 Technologies/Methods for Controlling NOx & SOx Emissions from Ships. Artikkel. Saatavissa: <https://www.marineinsight.com/tech/10-technologiesmethods-for-controlling-nox-sox-emissions-from-ships/> [viitattu 6.5.2018].

DSV 2015. Uusi rikkidirektiivi voimaan 1.1.2015. DSV. WWW-artikkeli. Saatavissa: <http://www.fi.dsv.com/about-dsv/press/News/2014/10/Uusi-rikkidirektiivi-voimaan-1-1-2015> [viitattu 19.4.2018].

Forsell, J. 2018a. Manager, Machinery and Deck Outfitting. Sähköpostiviesti 08.05.2018. Arctech Oy.

Forsell, J. 2018b. Manager, Machinery and Deck Outfitting. Henkilökohtainen tiedonanto 19.4.2018. Arctech Oy.

IMO 2018. Equivalents (SOx scrubber, etc.) – Regulation 4. IMO WWW-artikkeli. Saatavissa: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Equivalents-\(Sox-scrubber,-etc.\)---Regulation-4.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Equivalents-(Sox-scrubber,-etc.)---Regulation-4.aspx) [viitattu 16.05.2018].

Rudnick 2013. Rudnick L. R. Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology, toinen painos. E-kirja. CRC Press. Saatavissa: <https://books.google.fi/books?id=9YXRBQAAQBAJ&dq=lubrication+neutralizing+sox+tbn&hl=fi> [viitattu 29.5.2018].

Trafi 2018a. Merenkulku ja ympäristö 2018. Trafi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.trafi.fi/merenkulku/ymparistoasiat#/0> [viitattu 03.05.2018].

Trafi 2018b. Päästöt ilmaan 2018. Trafi. WWW-dokumentti Saatavissa: [https://www.trafi.fi/merenkulku/ymparistoasiat/paastot\\_ilmaan](https://www.trafi.fi/merenkulku/ymparistoasiat/paastot_ilmaan) [viitattu 03.05.2018].

Wärtsilä 2011. Wärtsilä Closed Loop Scrubber System. Youtube-video. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=J8\\_D7ASh0\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=J8_D7ASh0_g) [viitattu 16.4.2018].

Wärtsilä 2018a. Exhaust gas cleaning: how to choose the correct scrubber. Wärtsilä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/egc/white-paper-o-env-2014-exhaust-gas.pdf> [viitattu 20.4.2018].

Wärtsilä 2018b. Wärtsilä Open Loop Scrubber System 2018. Wärtsilä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/exhaust-gas-cleaning/sox-abatement/wartsila-open-loop-scrubber-system> [viitattu 09.05.2018].

Wärtsilä 2018c. Wärtsilä Closed Loop Scrubber System 2018. Wärtsilä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/exhaust-gas-cleaning/sox-abatement/wartsila-closed-loop-scrubber-system> [viitattu 09.05.2018].

Wärtsilä 2018d. Wärtsilä Hybrid Scrubber System 2018. Wärtsilä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/exhaust-gas-cleaning/sox-abatement/wartsila-hybrid-scrubber-system> [viitattu 09.05.2018].

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Hovilainen, N. 2018.

Kuva 2. Wärtsilä 2018a. Wärtsilä Open Loop Scrubber System 2018. Wärtsilä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/egc/white-paper-o-env-2014-exhaust-gas.pdf>. [viitattu 20.4.2018].

Kuva 3. Vuorela, J-J. 2018.

Kuva 4. Hovilainen, N. 2018.

Kuva 5. Hovilainen, N. 2018.

Kuva 6. Hovilainen, N. 2018.